



EESTI MAAÜLIKOOL

Metsandus- ja maaehitusinstituut

Metsakasvatuse ja metsaökoloogia õppetool

Mikko Buht

**KASE MAAPEALSE BIOMASSI FRAKTSIONAALNE
JAOTUS, ESIALGSED BIOMASSI MUDELID JA
TÜVEPUIDU TIHEDUS**

The fractional distribution and preliminary models of above-ground
biomass and stemwood density of birch

Magistritöö

Metsanduse õppekava

Juhendaja: teadur Hardo Becker

Tartu 2019

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu, 51006		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Mikko Buht		Õppekava: Metsamajandus	
Pealkiri: Kase maapealse biomassi fraktsionaalne jaotus, esialgsed biomassi mudelid ja tüvepuidu tihedus			
Lehekülgi: 30	Jooniseid: 7	Tabeleid: 4	Lisasid: 2
Õppetool: Metsakasvatus ja metsaökoloogia Uurimisvaldkond: Metsakasvatus Juhendaja(d): Hardo Becker Kaitsmiskoht ja aasta: Tartu 2019			
<p>Magistritöö eesmärgiks oli leida kase mudelpuude maapealse osa biomass ja selle fraktsionaalne jaotus ning saadud andmete põhjal koostada biomassi mudelid. Lisaks oli eesmärgiks määrata kaskede tüvepuidu tihedus, mis hinnati kahelt analüüsikettalt ($D_{1,3}$ ja $H_{70\%}$) võetud proovide alusel.</p> <p>Töös kasutati 69 mudelpuu andmeid, mis pärinesid 18 puistust. Mudelpuid võeti erineva boniteediklassi puistutest, mis jagunesid järgnevalt: Ia–I bon. (n=42); II bon. (n=20) ning III–IV bon. (n=7). Igast boniteediklassist valiti mudelpuud vastavalt vanusele: 1. vanuseklass 11–20-aastased; 2. 21–40-aastased; 3. 41–60-aastased; 4. 61–80-aastased ning 5. 81–100-aastased. Tüvepuidu keskmine osakaal puude maapealsest biomassist oli Ia–I boniteediklassis 79%, II bon. klassis 70% ning III–IV bon. klassis 71%. Tüvekoore osakaal bon. klasside lõikes varieerus vähe ning jäi 13–15% vahele. Okste osakaal mudelpuul ei sõltunud bon. klassist: keskmine okste mass oli kõige suurem II bon. klassis (12%), millele järgnesid III–IV ja Ia–I vastavalt 10 ning 6%. Keskmine lehemass oli II ja III–IV boniteediklassi puudel sarnane (4%) ning madalam Ia–I bon. puudel (1%).</p> <p>Tüvepuidu tihedus varieerus nii boniteediklasside kui ka vanuse lõikes. Ia–I, II ja III–IV boniteediklassi kuuluvate puude tüvepuidu tihedused $D_{1,3}$ kõrguselt olid vastavalt 0,627; 0,569 ning 0,593 g cm⁻³ ja $H_{70\%}$ kõrguselt 0,583; 0,557 ning 0,554 g cm⁻³. Kase keskmine tüvepuidu tihedus kõikide mudelpuude põhjal oli 0.582 g cm⁻³.</p> <p>Magistritöös leitud mudelid kirjeldasid kase maapealset biomassi tervikuna, fraktsioonide kaupa ning boniteediklasside põhiselt.</p>			
Märksõnad: maapealne biomass, kask, biomassi fraktsioonid, biomassi mudelid			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu, 51006		Abstract of Master Thesis	
Author: Mikko Buht		Specialty: Forest management	
Title: The fractional distribution and preliminary models of above-ground biomass and stemwood density of birch			
Pages: 30	Figures: 7	Tables: 4	Appendixes: 2
Chair: Chair of Silviculture and Forest Ecology Field of research: Silviculture Supervisors: Hardo Becker Place and year of defending: Tartu 2019			
<p>The aim of the thesis was to determine the aboveground biomass and fractional distribution of birch (<i>Betula pendula</i> Roth. + <i>Betula pubescens</i> Ehrh.) model trees, also to create models for estimation of aboveground biomass and investigate the basic wood density of birch. Basic density samples were taken from different heights of the model trees ($D_{1,3}$ ja $H_{70\%}$).</p> <p>The study material consisted of 69 model trees which were felled from 18 stands. Model trees were taken from stands with different site indexes and divided into three classes: Ia–I (n=42); II (n=20) and III–IV (n=7). Model trees from each site index class were further divided into five age classes: 1. 11–20-yr old; 2. 21-40-yr old; 3. 41-60-yr old; 4. 61-80-yr old and 5. 81-100-yr old. The average share of stemwood in aboveground biomass was 79%, 70%, and 71% in Ia-I, II and III-IV site index class, respectively. The share of stem bark varied between 13-15%. The average share of branches did not depend on the site index class and was 12%, 10% and 6% in II, III–IV and Ia–I site index class, respectively. The average share of leaf biomass was 4% in II, III–IV and 1% in Ia–I.</p> <p>The stemwood density varied according to the model tree age and site index class. The average stemwood density measured at $D_{1,3}$ of Ia–I, II and III–IV site index classes were 0.627; 0.569 and 0.593 g cm⁻³ and at $H_{70\%}$ 0.583; 0.557 and 0.554 g cm⁻³, respectively. The overall estimated average birch wood density was 0.582 g cm⁻³.</p>			
Keywords: Above-ground biomass, Birch, biomass fractions, biomass models			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. METOODIKA	7
1.1 Puistute iseloomustus	7
1.2 Mudelpuude maapealse osa biomassi ja tüvepuidu tiheduse hindamine.....	9
2. TULEMUSED JA ARUTELU	13
2.1 Mudelpuude maapealne biomass ja selle fraktsionaalne jaotus	13
2.2 Tüvepuidu tihedus	19
KOKKUVÕTE	22
VIIDATUD ALLIKAD	24
LISAD	27
Lisa 1. Mudelpuude andmed	28
Lisa 2. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta	30

SISSEJUHATUS

Tänapäeva metsandus vajab üha täpsemaid ja detailsemaid teadmisi metsade olemist, sealhulgas puude biomassist ja selle jaotumisest. Kui puude tüvemahtude ja puistute tagavara kohta on olemas nii üldisemaid kui ka spetsiifilisemaid mudeleid (sh. kasvukäigutabelid), siis teiste fraktsioonide (lehed, oksad) kohta on andmeid vähe. Kuid kaasajal vajatakse hinnanguid kogu metsades oleva biomassi kohta, kuna sellistel andmetel põhinevad näiteks regionaalsed süsiniku (C) varude ja voogude hinnangud. Kuna Eesti on liitunud erinevate riikidevaheliste lepetega, siis on riigil kohustus esitada regulaarselt erinevaid C sidumist ja varusid kajastavaid raporteid, sh kliimaraport ja LULUCF (*Land use, land-use change and forestry*) raport. Kõik need esitatavad andmed peaks suures osas tuginema teadusuuringutel ja adekvaatsel empiirilisel andmestikul. Eestil seni riigispetsiifilised biomassi mudelid puuduvad ja nende välja töötamiseks algatas Keskkonnaagentuur 2018. aastal projekti „Eesti puistute biomassi mudelite väljatöötamine“. Projekti peamiseks eesmärgiks on välja töötada Eesti tingimustele sobivad mudelid, mis võimaldaks arvutada maapealset ning maa-alust biomassi männi (*Pinus sylvestris*), kuuse (*Picea abies*) ja kase (*Betula sp.*) kohta. Mudelid aitavad kaasa boreaalse metsa biomassi modelleerimisel riigispetsiifilise hinnangu arvutamiseks kasvuhoonegaaside inventuuri jaoks. Käesolevas magistritöös on nendest kolmest olulisest puuliigist käsitletud kase biomassi hindamist.

Kask on oluline puuliik Eesti metsanduses ja täpsemad teadmised nende puistute ressursist aitavad kaasa nii metsade majandamisele kui ka metsapoliitiliste otsuste tegemisele. Majanduslikult olulises mahus kasvab Eestis üldse viis lehtpuuliiki: arukask, sookask, hall lepp, sanglepp ning harilik haab (Tullus 2001; Aastaraamat Mets 2017). Eesti metsade tagavara oli 2017 a. andmete põhjal 486,1 mln. m³ ja sellest moodustas kaasikute tagavara 109,1 mln. m³, millega kask on hariliku männi ja hariliku kuuse järel kolmandal kohal, moodustades 22,5% Eesti metsade kogutagavarast (Aastaraamat Mets 2017). Kase metsanduslik tähtsus on viimaste kümnendite jooksul märkimisväärselt suurenenud: kui varasemalt oli Eestis kasepuidu väärtus madal ja puidutööstus kasutas valdavalt okaspuu puitu, siis käesolevaks ajaks on kasepuidust saanud kõrgelt hinnatud tooraine. Eestis on

viimastel aastakümnetel üha kasvanud kasepuidust vineeri tootmise mahud (nt UPM-Kymmene Otepää tehas, Kohila Vineer) ning tänu lisanduvatele tootmisvõimsustele kasvab nõudlus kvaliteetse kasepuidu järgi tõenäoliselt veelgi (Lemeksi rajatav uus tehas Jõgevamaal). Kuid lisaks vineeripakule on rohkem hakatud väärtustama ka madalamakvaliteedilisi sortimente, mis viimastel aastatel on teinud suure hinnatõusu (Erametsakeskus 2018).

Käesolevas magistritöös analüüsiti kase maapealse biomassi andmeid ning nende põhjal koostati esialgsed biomassi mudelid. Lähiminevikus on Eestis kaasikute biomassi hinnatud mitmetes uurimustes (Uri *et al.* 2007; Lutter *et al.* 2015; Aosaar *et al.* 2016) ja sealhulgas metsade C sidumise kontekstis (Uri *et al.* 2012, 2017). Varasemal perioodil on läbi kase ja kaasikute tagavara ning kasvukäigu hindamise andnud Eesti metsateadusesse väga suure panuse professor Olev Henno (Henno 1959, 1970, 1980). Väliskirjandusest on selles valdkonnas kõige tuntum Soome teadlase Jaakko Repola tööd (Repola 2006, 2008), kelle loodud mudeleid on paljud teadlased Põhja-Euroopa ja Balti riikidest kasutanud puistute biomassi hindamiseks.

Et käesolevas töös hinnati biomasse, metsanduses aga kasutatakse mahuühikuid (m^3), siis on teisendusteks vajaliku relevantseid tüvepuidu tiheduse hinnangud. Töös hinnati tüvepuidu tihedust erinevates boniteediklassides kasvavatel ning erineva vanusega puudel, erinevatel tüve kõrgustel.

Käesoleva töö peamiseks eesmärgiks oli hinnata erineva vanusega kaskede maapealse osa biomassi, selle fraktsionaalset jaotust ning saadud tulemuste põhjal koostada esialgsed biomassi mudelid. Lisaks hinnati kase tüvepuidu tihedust ja selle sõltuvust puistu boniteedist, puude vanusest ning kõrgusest tüvel.

Lõputöö autor võttis aktiivselt osa väli- ja laboratoorsetest töödest, samuti viis läbi andmete analüüsi.

1. METOODIKA

1.1 Puistute iseloomustus

Lõputöös kasutati 69 mudelpuu andmeid, mis pärinesid 18-st puistust Tartu ja Põlva maakonnas. Puistute valimisel lähtuti esmalt varasemast takseerkirjeldusest, mida kontrolliti kohapeal, looduses. Kui puistu ei vastanud takseerkirjelduses toodule, valiti teine sobivam puistu. Töös kasutati nii varasemast perioodist pärit kase biomasside ning puistute andmeid (tabel 1a) kui ka uusi originaalandmeid, mis on saadud KAUR projekti täitmise käigus (tabel 1b).

Tabel 1a. Varasemate uurimisprojektide käigus rajatud katsealade iseloomustus.

Puistu	Boniteet	Vanus, a	Keskmine H, m	Keskmine D _{1,3} , cm	G, m ² ha ⁻¹	Keskmine võra pikkus, m	Keskmine võra osakaal puu pikkusest, %
Alatskivi ¹	Ia	14	11,2	8,0	10,6	7,4	66
Kambja kontroll ²	Ia	21	18,0	11,1	24,2	5,0	28
Kambja harvendus ²	Ia	21	19,6	12,9	21,3	6,5	33
Kiidjärve harvendus ²	Ia	30	23,2	17,4	17,5	10,1	44
Kiidjärve kontroll ²	Ia	28	21,9	15,7	22,4	8,7	40
Erastvere ¹	Ia	45	23,5	16,9	29,8	9,6	41
Aakre ¹	Ia	61	30,1	27,2	23,7	11,0	37

¹ Uri *et al* 2012

² Aun *et al* 2019

Tabel 1b. KAUR projekti „Eesti puistute biomassi mudelite väljatöötamine“ käigus rajatud katsealade iseloomustus.

Puistu	Boniteet	Keskmine vanus, a	Keskmine H, m	Keskmine $D_{1,3}$, cm	G, $m^2 ha^{-1}$	Keskmine elusvõra pikkus, m	Keskmine elusvõra osakaal puu pikkusest, %
CO0169-16	I	62	26,4	26,0	26,0	10,3	39
JS281-9	Ia	57	29,8	26,4	16,0	13,2	44
CO068-3	Ia	64	29,7	27,5	25,5	13,1	44
CK163-20	Ia	88	30,3	30,9	22,5	9,9	33
QT085-6	II	15	10,8	7,8	6,0	7,8	72
JS066-9	II	48	16,7	12,8	25,5	6,7	40
QT073-12	II	42	16,7	12,7	19,0	8,2	49
JS158-1	II	67	19,9	18,3	17,0	8,7	44
CK140-14	II	65	23,1	22,6	19,5	9,6	42
JS093-16	III	25	10,7	6,7	25,0	3,6	34
JS122-4	III	63	17,1	16,4	14,0	5,9	35

Käesolevas töös on kasutatud erineva vanusega puistute andmeid latimetsast kuni küpse metsa arenguklassini (tabel 1a, 1b). Varasemast uurimisperioodist pärit katsealade puistud kasvasid väga viljakatel muldadel (tabel 1a) ja neis olid esindatud nii harvendatud kui harvendamata puistud. Erinevate puistute kaasamine valimisse võimaldab anda parema ülevaate Eestis kasvavate kaasikute struktuurist ja neis kasvate puude biomassi varieerumisest. Kui varasemate alade (tabel 1a) rinnaslõikepindala arvutati ülepinnalise klappimise põhjal saadud andmetest, siis projekti raames rajatud aladel kasutati rinnaspindala leidmiseks Bitterlichi meetodit – valitud eraldisel tehti mudelpuude võtmise asukoha vahetus läheduses rinnaspindala hindamiseks 3 lugemit ning arvutati keskmine lõikepind $0,5 m^2$ täpsusega.

Tabel 2. Töös kasutatud puistute jagunemine boniteedi- ja vanuseklasside lõikes.

Boniteet	Vanuseklass	Vanusevahemik, a	Mudelpuude arv, n	D _{1,3} , (max-min), cm	H, (max-min), m
Ia-I	1	11–20	7	5,3–12,5	8,6–12,9
Ia-I	2	21–40	12	7,7–20,3	16,3–25,0
Ia-I	3	41–60	10	10,1–29,5	18,4–30,8
Ia-I	4	61–80	11	16,6–36,8	26,3–31,5
Ia-I	5	81–100	2	26,8–35	29,6–31
II	1	11–20	5	5,2–10,3	7,2–12,9
II	2	21–40	-	-	-
II	3	41–60	8	6,15–29,5	12,2–30,8
II	4	61–80	7	14,6–26,5	17–24,4
II	5	81–100	-	-	-
III-IV	1	11–20	-	-	-
III-IV	2	21–40	4	5,4–8,6	9,9–11,8
III-IV	3	41–60	-	-	-
III-IV	4	61–80	3	18,3–19,6	14,8–19,4
III-IV	5	81–100	-	-	-

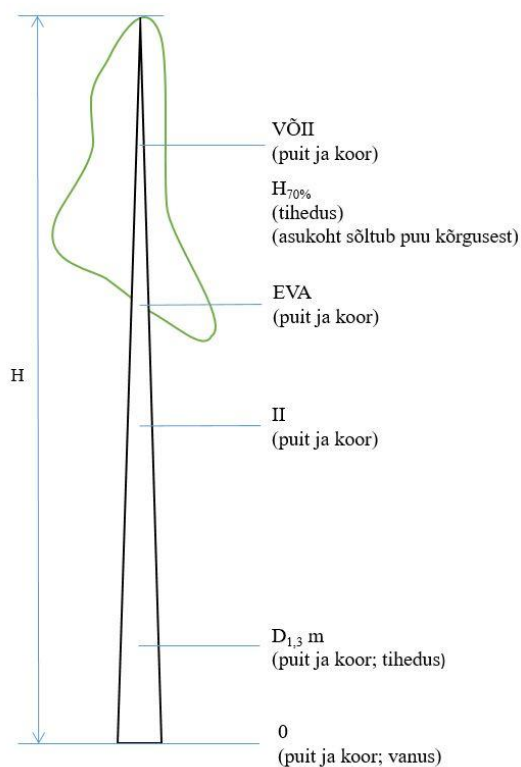
Vastavalt projekti lähteülesandes kirjeldatud nõuetele jagati puistud kolme boniteediklassi, mis jagunesid järgnevalt: Ia–I (mudelpuude n=42); II (n=20) ning III–IV (n=7) (tabel 2). Igast boniteediklassist valiti mudelpuid vastavalt puistute vanuselisele jaotusele: 1. klass 11–20-aastased; 2. 21–40-aastased; 3. 41–60-aastased; 4. 61–80-aastased ning 5. 81–100-aastased puistud. Kõikide boniteediklasside peale kokku oli esimeses vanuseklassis 12 mudelpuud, teises 16, kolmandas 18, neljandas 21 ning viiendas 2 mudelpuud. Sellise jaotuse aluseks oli Eesti kaasikute vanuseline jagunemine (Aastaraamat Mets 2017). Kokku näeb projekti metoodika ette 110 kase mudelpuu biomassi hindamist erinevatest vanuse- ja boniteediklassidest. Kuna projekt on tööjärgus, siis pole mudelpuude arv üheski vanuseklassis veel lõplik, samuti pole osades vanuseklassides seni võetud ühtki mudelpuud (tabel 2).

1.2 Mudelpuude maapealse osa biomassi ja tüvepuidu tiheduse hindamine

Igast välja valitud puistust langetati 3–7 mudelpuud. Nende valimisel lähtuti põhimõttest, et see oleks puistule iseloomulik puu, ent samas püüti välistada sama rinnasdiameetri kordumist ühe vanuserühma piires. Mudelpuud langetati võimalikult maapinna lähedalt.

Peale langetamist märgiti tüvele analüüsiketaste asukohad (joonis 1) ning seejärel järgati tüvi vastavalt märgistusele. Kõikidel tüveosadel mõõdeti metsas pikkus ja määrati mass. Elusvõra jaotati vastavalt puu suurusele ja võra pikkusele: suurematel puudel jaotati võra neljaks, väiksematel ja väga väikestel vastavalt kolmeks või kaheks sektsiooniks. Kõikide võrasektsioonide oksad kaaluti metsas eraldi ning silmamõõdulise hinnangu põhjal valiti nende hulgast välja igale sektsioonile eraldi keskmise diameetri ja pikkusega mudeloks. Laboris mudeloksad kaaluti, eraldati lehed ning võeti nii oksa, kui ka lehe alamproovid (10–40 g). Alamproovid kaaluti 0,01 g täpsusega ning kuivatati kuivatusahjus 70° C juures püsiva massi saavutamiseni. Kontrollkaalumise veenduti püsiva kaalu saavutamises. Saadud tulemusi kasutati vastava võrasektsiooni okste ja lehtede massi arvutamiseks.

Igalt puult võeti puidu ja koore osakaalu hindamiseks viis analüüsiketast järgnevatelt kõrgustelt: 0 (känd), rinnakõrguselt ($D_{1,3}$ m), tüve keskelt (II), elusvõra algusest (EVA) ja võra keskelt (VÕII) (joonis 1).



Joonis 1. Mudelpuu analüüsiketaste asukohad.

Puidu ja koore kuivmassi määramiseks võeti igalt analüüsikettalt sektor, sellelt eraldati koor, koor ja puit kaaluti eraldi ning kuivatati samuti 70° C juures püsiva kaalu saavutamiseni. Saadud tulemused sisestati MS Excel töökeskkonda, mille abil leiti tüvepuidu, koore, okste ning lehtede kuivmass mudelpuu kohta. Kasutatud meetod biomassi hindamiseks on laialdaselt kasutusel (Bormann ja Gordon 1984; Lõhmus *et al.* 1996; Uri *et al.* 2009; Aosaar *et al.* 2016), kuid selle puuduseks on töömahukus. Töö tulemuste ja arutelu osas on biomasside väärtused antud kuivmassidena.

Mudelpuude andmete põhjal koostati tüve, oksa, lehe ja kogu maapealse biomassi kirjeldamiseks regressioonvõrrandid, mis väljenduvad üldkujul:

$$y=ax^b, \quad (1)$$

kus

y – on fraktsionaalne, terviklik või boniteediklassi põhine maapealne biomass (kg);

x – mudelpuu rinnasdiameeter (cm) või mudelpuu kõrgus (m);

a, b – võrrandi parameetrid.

Puu vanuse leidmiseks kasutati kännult lõigatud analüüsiketast. Ketast kuivatati toatemperatuuril ligikaudu nädal, seejärel lihviti, et aastarõngad oleksid paremini loetavad ning skanneeriti arvutisse. Aastarõngad loeti ja mõõdeti programmiga WinDENDRO.

Tüvepuidu tihedust hinnati kahelt analüüsikettalt ($D_{1,3}$ ja $H_{70\%}$) võetud proovide alusel (Joonis 1). Lõputöös kajastuvad 41 mudelpuu tüvepuidu tiheduse andmed, mis saadi 225 puiduproovi põhjal. Igalt kettalt võeti 3 proovi nii, et proovid iseloomustaksid puidu tihedust ketta erinevatest piirkondadest säsist kuni kooreni. Koor eemaldati ning selle tihedus ei kajastu tulemustes. Proovid kuivatati 105° C juures absoluutkuivaks (niiskus 0%), milleks kulus hinnanguliselt 1 nädal. Proovide kuivamist ja püsiva massi saavutamist kontrolliti korduvkaalumise teel. Tiheduse määramiseks kasutati spetsiaalset kaalu Kern EMB-V 2000-2V, millega proov kaaluti, seejärel uputati ning kaaluti uuesti. Arvestades vee tihedust kindla temperatuuri juures (17° C=0,9982 g cm⁻³), puiduproovi kaalu õhkkeskkonnas ja vees, arvutas kaal automaatselt mõõdetava puiduproovi tiheduse. Tüvepuidu tiheduse võrdlemiseks erinevates boniteediklassides või ühe boniteediklassi siseselt erinevatel kõrgustel, kontrolliti andmete vastavust normaaljaotusele. Selleks

kasutati Kolmogorov-Smirnovi testi Minitab 17 programmis. Kuna andmed vastasid normaaljaotusele, kontrolliti andmete hajuvust MS Exceli keskkonnas F-testi abil, et selgitada, millist T-testi peab puidutiheduste erinevuse usaldusväärsuse kontrolliks kasutama. Kuna F-testi olulisuse tõenäosus (*p-value*) oli väiksem kui 0,05, võrreldi neid T-testiga (*Two Sample Assuming Unequal Variances*).

2. TULEMUSED JA ARUTELU

2.1 Mudelpuude maaapealne biomass ja selle fraktsionaalne jaotus

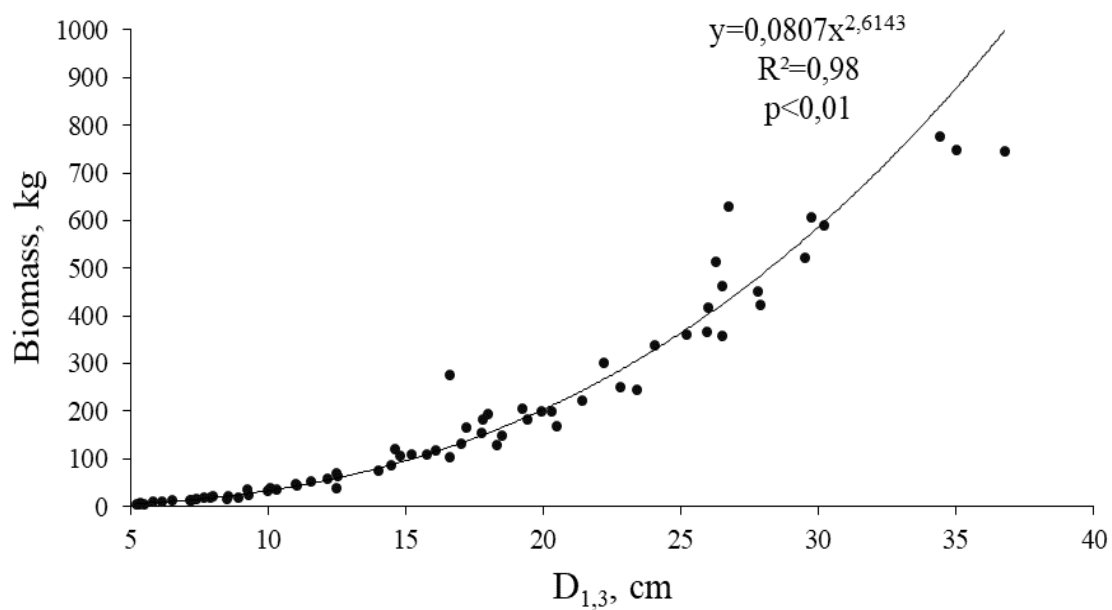
Arukask on tuntud kui valgusnõudlik pioneerpuuliik, mis võib olla viljakatel kasvukohtadel suure tootlikusega (Hynynen *et al.* 2010), kasvades parimatel kasvukohtadel 30 aastaga 24–25 m kõrguseks (Oikarinen 1983; Eriksson *et al.* 1997). O. Henno (1980) poolt välja töötatud arukaasikute kasvukäigutabeli järgi on 30-aastastes naadikaasikutes puistu kõrgus ligikaudu 19 meetrit. Kasvukäigutabelite puhul peab aga meeles pidama, et nende puhul on tegu suurte üldistustega ning metsade tagavara ja tootlikkus võivad olla väga varieeruvad, sõltuvalt kasvukoha omadustest ja puistu tihedusest (Krigul 1972). Antud töös kasutatud parima kasvuga puistute kõrguskasv oli võrreldav eelpool mainituga – 30-aastaste mudelpuude keskmine kõrgus ulatus samuti 24 meetrini. Samas III–IV boniteediklassi 32-aastase mudelpuu kõrgus oli kõigest 10 meetrit (lisa 1). Projektis kasutatud puistute ning mudelpuude vanused ning mõõtmed olid väga varieeruvad: töö käigus fraktsioneeriti mudelpuid, mille vanus jäi vahemikku 13–88 a., kõrgus 7–32 m, rinnasdiameeter 5–37 cm ning puude maaapealne biomass 5–778 kg.

Fraktsioonidest moodustas suurima osa tüvepuit. Ia–I boniteediklassis oli tüvepuidu osakaal 79; II 70 ning III–IV 71%, boniteediklasside üleselt keskmiselt 75% (tabel 3).

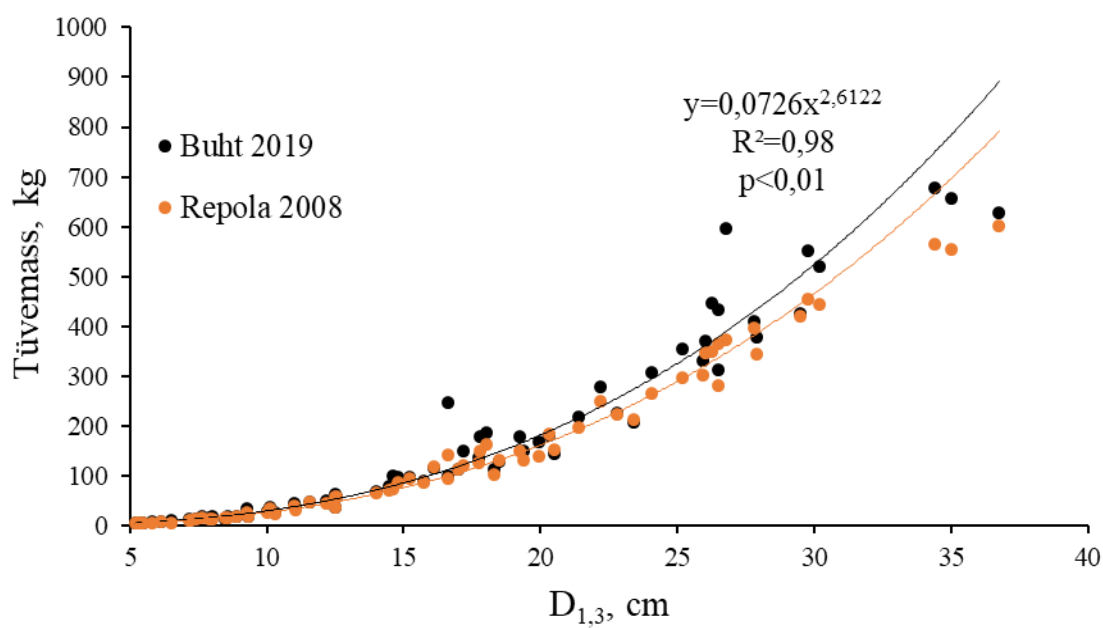
Tabel 3. Mudelpuude fraktsioonide keskmised biomassid boniteedi- ja vanuseklasside lõikes. Esitatud on aritmeetiline keskmine \pm standardhälve.

Boniteedi- klass	Vanuseklass	Tüvepuit		Tüvekoor		Lehed		Oksad	
		kg	%	kg	%	kg	%	kg	%
Ia–I	1	12,5 \pm 8,8	80,5 \pm 2,0	2,4 \pm 1,9	15,2 \pm 2,6	0,2 \pm 0,2	1,4 \pm 1,4	0,4 \pm 0,4	3,0 \pm 2,1
Ia–I	2	86,4 \pm 49,3	78,6 \pm 5,1	11,5 \pm 7,1	12,2 \pm 3,6	2,8 \pm 2,0	2,3 \pm 0,7	8,8 \pm 6,5	7,0 \pm 2,5
Ia–I	3	213,3 \pm 130,2	81,8 \pm 4,7	30,3 \pm 17,7	12,5 \pm 2,8	3,6 \pm 4,6	0,9 \pm 0,9	18,9 \pm 26,7	4,8 \pm 4,9
Ia–I	4	379,7 \pm 139,0	78,3 \pm 3,0	48,3 \pm 18,3	11,3 \pm 1,6	5,6 \pm 3,2	1,1 \pm 0,3	47,6 \pm 29,7	9,1 \pm 3,0
Ia–I	5	536,5 \pm 20,8	76,8 \pm 7,4	90,2 \pm 23,4	14,3 \pm 2,7	5,5 \pm 1,7	0,8 \pm 0,2	57,6 \pm 37,9	8,1 \pm 4,5
II	1	12,9 \pm 7,6	63,9 \pm 3,3	2,2 \pm 1,1	15,1 \pm 2,1	1,1 \pm 0,5	6,2 \pm 1,1	2,9 \pm 2,1	14,8 \pm 2,4
II	2	-	-	-	-	-	-	-	-
II	3	54,1 \pm 39,9	75,4 \pm 4,7	8,2 \pm 5,6	14,0 \pm 3,0	1,8 \pm 1,8	2,5 \pm 0,6	5,5 \pm 6,9	8,0 \pm 2,7
II	4	148,1 \pm 70,5	70,4 \pm 4,3	25,1 \pm 9,9	14,8 \pm 2,7	4,6 \pm 2,0	2,4 \pm 0,9	23,7 \pm 8,6	12,3 \pm 2,4
II	5	-	-	-	-	-	-	-	-
III–IV	1	-	-	-	-	-	-	-	-
III–IV	2	9,6 \pm 9,6	72,7 \pm 2,1	1,7 \pm 0,9	15,4 \pm 2,1	0,6 \pm 0,5	3,9 \pm 1,5	1,0 \pm 0,6	8,0 \pm 1,0
III–IV	3	-	-	-	-	-	-	-	-
III–IV	4	91,0 \pm 57,0	70,0 \pm 1,0	15,6 \pm 8,9	14,8 \pm 1,8	4,1 \pm 3,6	3,4 \pm 1,6	14,8 \pm 9,6	11,7 \pm 0,7
III–IV	5	-	-	-	-	-	-	-	-

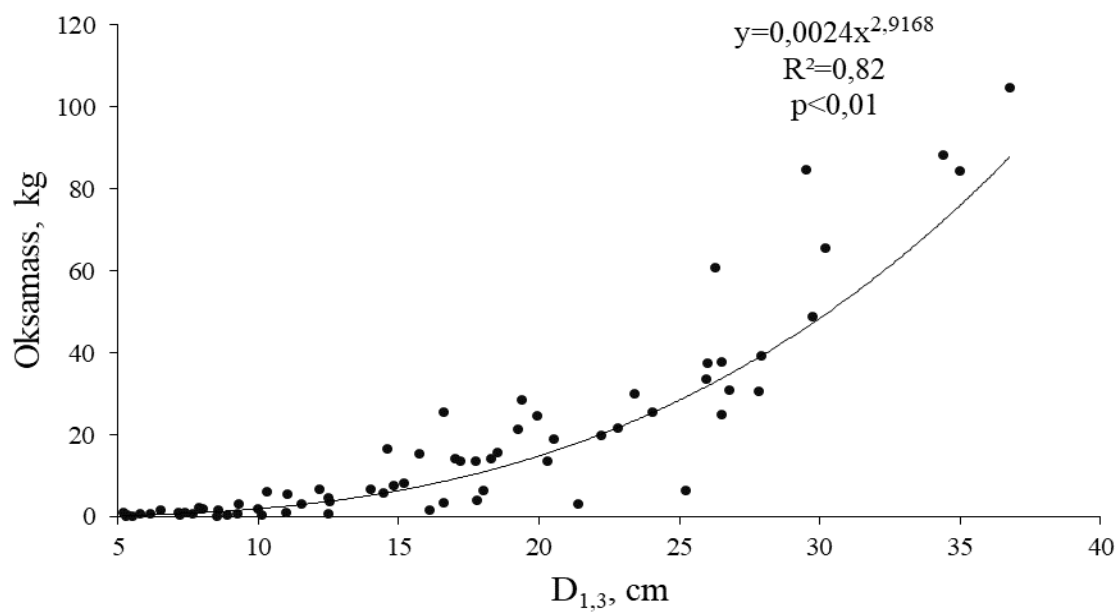
Tüvekoore osakaal boniteediklasside lõikes suuresti ei erinenud ja jäi 13–15% juurde. Boniteedi langedes suurenes lehe ja okste biomassi osakaal (tabel 3). Okste keskmine biomass oli kõige suurem II boniteediklassis (12%), millele järgnesid III–IV ja Ia–I vastavalt 10 ning 6%. Ia–I boniteediklassis suurenes okste suhteline osakaal vanuse suurenedes. Keskmine lehemass moodustas II ja III–IV boniteediklassis 4% ning Ia–I vaid 1% kogu maaapealsest biomassist.



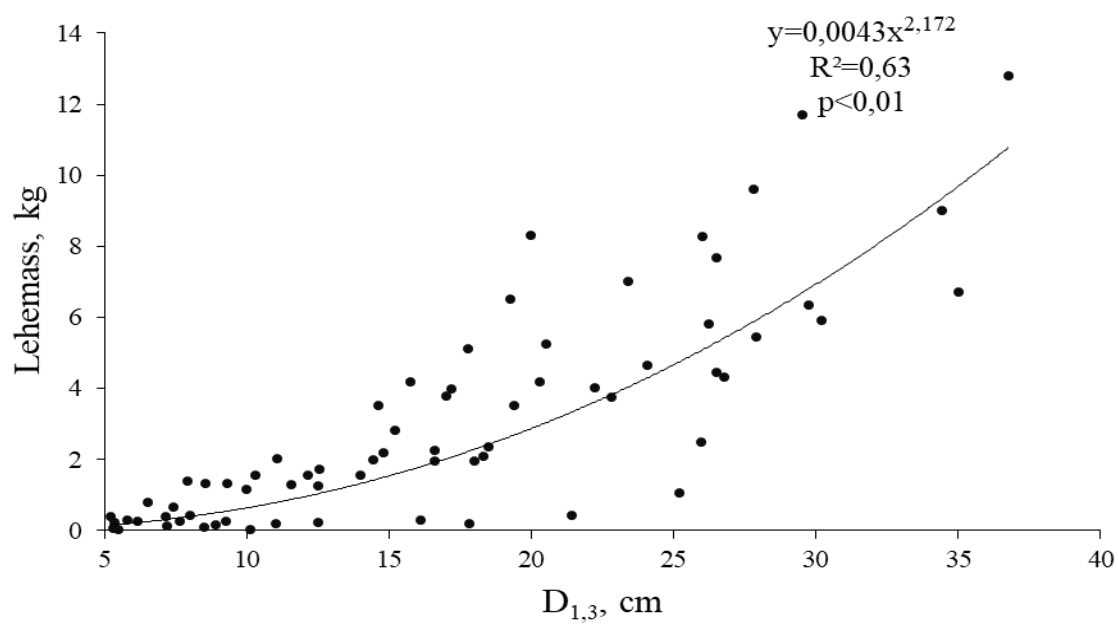
Joonis 2. Kase mudelpuude maapealse biomassi ja rinnasdiameetri vaheline seos (n=69).



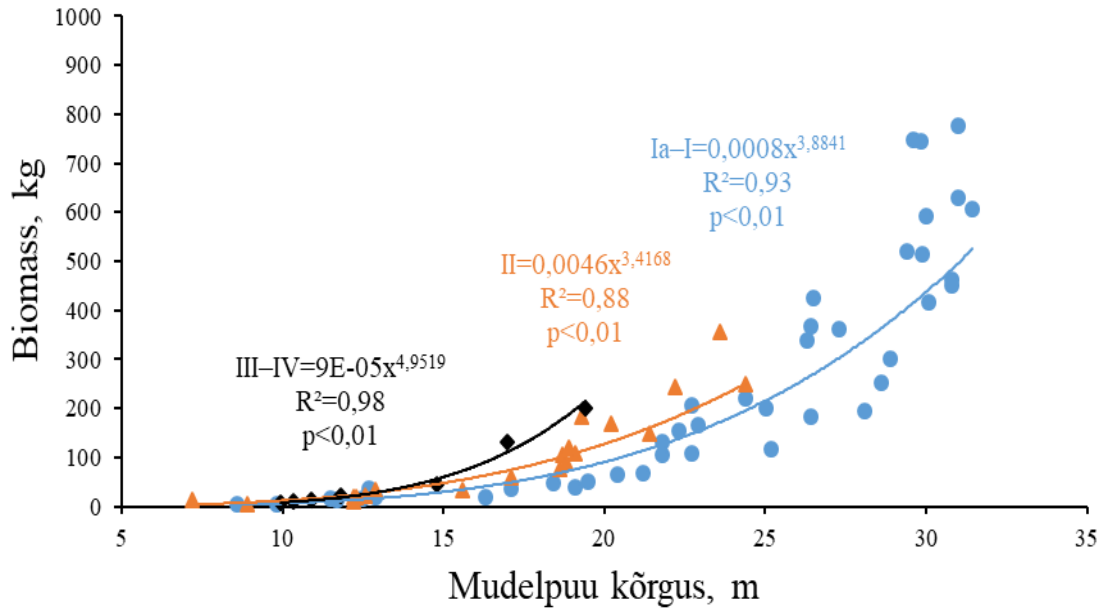
Joonis 3. Kase mudelpuude tüvemassi mudeli (2019) võrdlus Repola (2008) mudeliga.



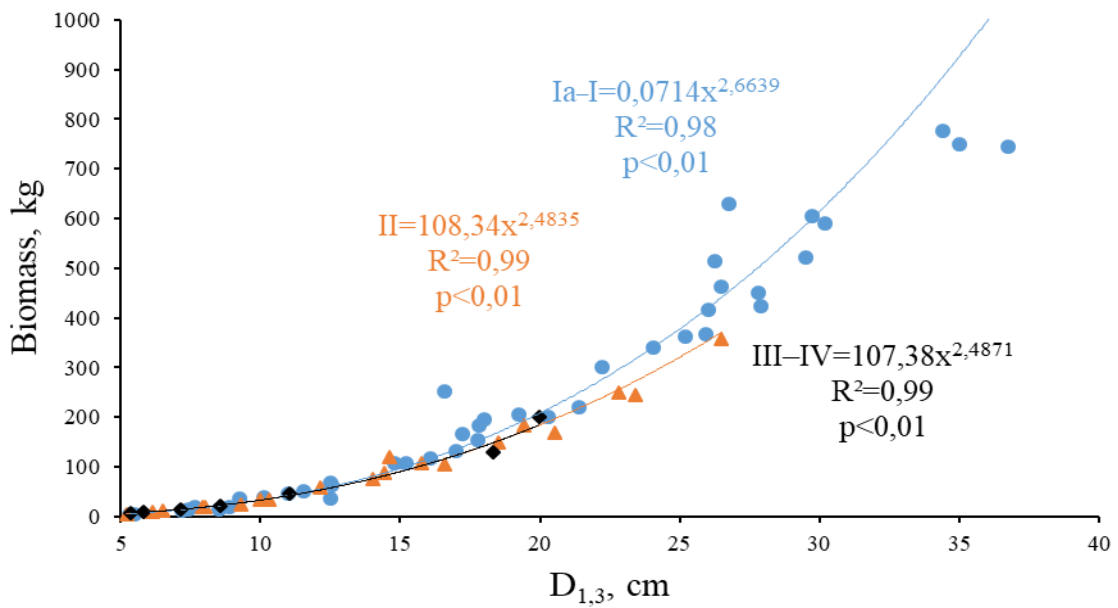
Joonis 4. Kase mudelpuude okste biomassi ja rinnasdiameetri vaheline seos (n=69).



Joonis 5. Kase mudelpuude lehtede biomassi ja rinnasdiameetri vaheline seos (n=69).



Joonis 6. Kase mudelpuude maaapealse biomassi ja kõrguse vaheline seos erinevate boniteediklasside kaupa (n=69).



Joonis 7. Kase mudelpuude maaapealse biomassi ja rinnasdiameetri vaheline seos erinevate boniteediklasside kaupa (n=69).

Magistritöös leitud modelid kirjeldasid kaskede kogu maaapealset biomassi, fraktsioonide kaupa ning ka boniteediklasside lõikes. Enamus mudelpuude põhjal koostatud mudelitel on kõrge determinatsioonikordaja ($R^2 > 0,9$), mis näitab tugevat seost biomassi ja $D_{1,3}$ või mudelpuu kõrguse vahel. Oksa- ja lehemassi ning $D_{1,3}$ vahelise seose (joonis 4, 5) determinatsioonikordaja oli madalam ($R^2 = 0,82$ ja $R^2 = 0,63$). Lehemass varieerus vahemikus 1–13 kg ning moodustas keskmiselt vaid 3% mudelpuude biomassist. Suurema varieeruvuse tõttu oli lehemassi mudeli puhul seos nõrgem.

Et hinnata, kuivõrd hästi kirjeldab Repola (2008) Soome andmete põhjal koostatud tüvemassi mudel Eesti kaskede tüvemassi, võrreldi 2019 saadud empiirilisi mudelpuude andmeid Repola mudeli poolt prognoosituga (joonis 3). Kuna Repola mudeliga leitud tüvemassid olid madalamad, leiti iga mudelpuu tüvemassi erinevus Repola (2008) ja Buht (2019) vahel. Keskmiselt erines mudelpuu tüvemass 21 kg. Erinevus empiiriliste ja prognoositud väärtuste vahel oli suurem suuremate puude puhul: üle 27 m ($n=15$) kõrgete mudelpuude tüvemass erines keskmiselt 71 kg. Jättes üle 27 m kõrgused puud valimist välja ($n=54$), saadi keskmiseks erinevuseks 7 kg puu kohta. Mudelites peegelduvad erinevused näitavad puude kasvuerinevusi geograafiliste regioonide vahel ning kinnitavad riigi- ja asukohapõhiste biomassimudelite väljatöötamise olulisust, et saada täpsemaid hinnanguid puistute kasvu kohta.

Vastavalt aru- ja sookase erinevatele ökoloogilistele nõudmistele, võib eeldada, et III–V bon. klassi puistutest pärit mudelpuud on suure tõenäosusega sookased ja kõrgema bon. puistutest arukased (Lõhmus 2004). Kuigi viljakas kasvukoht võimaldab puudele paremaid kasvutingimusi ja kiiremat kasvu on näiteks 20 m kõrguste mudelpuude puhul olukord, kus III–IV boniteediklassi mudelpuude biomass on oluliselt suurem Ia–II boniteedi puistutest pärinevatest mudelpuude biomassist (joonis 6). Seda saab selgitada asjaoluga, et antud näite korral võrreldakse peagi küpsusvanuseni jõudvat 65-aastast (III–IV bon.) keskealise 30-aastase (Ia–I bon.) mudelpuuga. Teistsuguse tulemuse annab nende puude võrdlemine rinnasdiameetri ja biomassi põhjal, kus sama diameetri korral on paremas boniteediklassis kasvaval puul suurem maaapealne biomass (joonis 7).

Biomassimudelite abil on võimalik leida kasepuistute nii kogu maaapealne biomass, kui ka fraktsioonide biomass erinevate boniteediklasside kohta. See omakorda võimaldab anda hinnanguid näiteks puistus seotud süsiniku koguse kohta. Mudelite rakendamisel tuleks

meeles pidada, et need on koostatud Tartu ja Põlva maakonnas tehtud mudelpuude põhjal, mistõttu mudelite rakendamine Põhja- või Lääne-Eestis ei pruugi anda samasuguseid tulemusi.

2.2 Tüvepuidu tihedus

Puidu kvaliteedi üheks olulisemaks näitajaks on tihedus. Sellest sõltuvad puidu füüsilised omadused nagu tugevus, kõvadus, kulumiskindlus, soojajuhtivus, kütteväärtus, kahanemine ning paisumine (Saarman, Veibri 2006). Puidu tihedus võib varieeruda, sõltudes puuliigist, geograafilisest asukohast, kasvukohatüübist, puu vanusest ja asukohast tüvel (Repola 2006; Johansson 2007). Puidu tiheduse märgatav erinevus sama puuliigi korral on tingitud mitmesugustest teguritest nagu lüli- ja maltspuidu osakaalust, sügispuidu osakaalust, vegetatsiooniperioodi pikkusest, ümbritseva keskkonna mõjust jne. (Saarman, Veibri 2006).

Kase keskmine tüvepuidu tihedus ($D_{1,3+H_{70\%}}$) oli $0,582 \text{ g cm}^{-3}$. Kase absoluutkuiva puidu keskmiseks tiheduseks on varasemalt leitud $0,534 \text{ cm}^{-3}$ (Kasesalu 1965). Mudelpuude keskmine ($D_{1,3+H_{70\%}}$) tüvepuidu tihedus varieerus vahemikus $0,474\text{--}0,789 \text{ g cm}^{-3}$ (tabel 4). Madalaim tihedus ($0,474 \text{ g cm}^{-3}$) määrati II boniteediklassi 13-aastaselt puul ning kõrgeim ($0,789 \text{ g cm}^{-3}$) 65-aastaselt mudelpuul.

Üldiselt näitavad saadud tulemused trendi, mille kohaselt tüvepuidu tihedus on tüve kõrgemates osades madalam (tabel 4). Ia–I; II ja III–IV boniteediklassi tüvepuidu tihedused $D_{1,3}$ kõrguselt mõõdetuna olid vastavalt $0,627$; $0,569$ ning $0,593 \text{ g cm}^{-3}$ ja $H_{70\%}$ kõrguselt mõõdetuna $0,583$; $0,557$ ning $0,554 \text{ g cm}^{-3}$. $D_{1,3}$ ja $H_{70\%}$ tihedused erinesid omavahel usaldusväärselt Ia–I ning III–IV boniteediklassides ($p=0,0006$; $p=0,02$). II boniteediklassi mudelpuudel ei leitud tüve erinevatel kõrgustel tüvepuidu tiheduse usaldusväärset erinevust ($p=0,08$).

Võrreldes üldist tüvepuidu tihedust ($D_{1,3+H_{70\%}}$), ilmnes usaldusväärne erinevus Ia–I ja II boniteediklassi mudelpuude vahel ($p=0,024$). Samas, II ja III–IV ning Ia–I ja III–IV boniteediklasside puude tüvepuidu tihedused ei erinenud omavahel usaldusväärselt

(vastavalt $p=0,745$ ning $p=0,055$). Statistiliselt on õige väita, et p väärtuse 0,055 korral ei erine tulemused usaldusväärtuselt, kuid tulemus on siiski ligilähedane usaldusväärsele erinevusele.

Tabel 4. Keskmise tüvepuidu tihedus (g cm^{-3}) kase mudelpuude tüve erinevatel kõrgustel. Aritmeetiline keskmine \pm standardhälve.

Boniteediklass	Vanuseklass	Mudelpuude arv, n	Keskmine tihedus $H_{1,3}$, g cm^{-3}	Keskmine tihedus $H_{70\%}$, g cm^{-3}
Ia-I	1	-	-	-
Ia-I	2	-	-	-
Ia-I	3	4	$0,609\pm 0,071$	$0,576\pm 0,032$
Ia-I	4	7	$0,623\pm 0,087$	$0,582\pm 0,040$
Ia-I	5	3	$0,650\pm 0,047$	$0,590\pm 0,041$
II	1	5	$0,526\pm 0,041$	$0,517\pm 0,025$
II	2	-	-	-
II	3	8	$0,578\pm 0,057$	$0,588\pm 0,050$
II	4	7	$0,605\pm 0,054$	$0,566\pm 0,027$
II	5	-	-	-
III-IV	1	-	-	-
III-IV	2	4	$0,615\pm 0,011$	$0,561\pm 0,011$
III-IV	3	-	-	-
III-IV	4	3	$0,572\pm 0,028$	$0,548\pm 0,025$
III-IV	5	-	-	-

Kui boniteet ei mõjutanud usaldusväärselt tüvepuidu tihedust, siis vanuse puhul oli tendents tiheduse suurenemisele vanemates puistutes: vanuseklasside lõikes (1–5) (kõik bon. klassid), olid tüvepuidu tihedused: 0,524; 0,588; 0,588; 0,587 ning 0,617 g cm^{-3} , st. et vanuse kasvades suureneb puidu tihedus. See tulemus on heas kooskõlas Poolas läbi viidud uurimisega, kus on samuti leitud positiivne seos puidu tiheduse ja puu vanuse vahel: 30-, 50- ja 70-aastase mudelpuu tiheduseks saadi vastavalt 0,513; 0,529 ja 0,542 g cm^{-3} (Lachowicz et al. 2019).

Eestis on varasemalt kasepuidu tiheduse uurimisega tegeletud (Kasesalu 1965), kuid üldjuhul põhinevad tulemused õhukuival niiskusesisaldusel. Absoluutkuiva puidu tiheduse leidmiseks kasutati järgnevat valemit (ISO 3131-1975 (E)):

$$\rho = \rho_w \frac{1 + 0,01(0 - 15)}{1 + 0,01(0 - 15)} \frac{\rho_w}{\rho_{H_2O}}, \quad (2)$$

kus

ρ – leitav puidu tihedus g cm^{-3} ;

ρ_w – algne puidu tihedus g cm^{-3} ;

$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$ – vee tihedus ($0,998$) g cm^{-3} ;

0 – niiskusesisaldus leitava puidu tiheduse korral %;

15 – niiskusesisaldus algse puidu tiheduse korral %.

Õhukuiva (15% niiskusesisaldus) puidu tiheduseks on varasemalt leitud $0,630\text{--}0,670 \text{ g cm}^{-3}$ (Saarman, Veibri 2006), mis ümberarvutamisel absoluutkuivaks puidu tiheduseks on $0,526\text{--}0,558 \text{ g cm}^{-3}$. A. Kasesalu on saanud kasepuidu tiheduseks $0,610\text{--}0,700 \text{ g cm}^{-3}$, mis baseerub samuti õhukuival puidul (Kasesalu 1965). Ümberarvutatult absoluutkuiva puidu tiheduseks on see vahemik $0,509\text{--}0,583 \text{ g cm}^{-3}$.

Poolas tehtud uurimuse põhjal varieerus kase tüvepuidu tihedus vahemikus $0,400\text{--}0,652 \text{ g cm}^{-3}$ ning keskmine oli $0,528 \text{ g cm}^{-3}$ (Lachowicz *et al.* 2019). On märgitud, et tiheduse hindamisel ei kasutatud tüve keskmist puidu osa ja koort. Käesolevas magistritöös ja Lachowicz *et al.* (2019) uurimuses saadud tulemuste erinevus võib olla põhjustatud nii eelpool mainitud asjaoludest, kui ka geograafilisest erinevusest (Repola 2006; Johansson 2007).

KOKKUVÕTE

Magistritöö eesmärgiks oli leida kase mudelpuude maapealse osa biomass ja selle fraktsionaalne jaotus ning saadud andmete põhjal koostada biomassi mudelid. Töös kasutati 69 mudelpuu andmeid, mis pärinesid 18-st erinevast puistust. Analüüsi kaasati ka 7 puistu andmed, mis pärinesid varasematest uurimistöödest. Lisaks oli eesmärgiks selgitada kaskede tüvepuidu tihedus, mida hinnati kahelt tüve analüüsikettalt ($D_{1,3}$ ja $H_{70\%}$) võetud proovide alusel. Lõputöös kajastuvad 41 mudelpuu tüvepuidu tiheduse andmed, mis leiti 225 puiduproovi põhjal. Mudelpuid võeti erineva boniteediklassi puistutest, mis jagunesid järgnevalt: Ia–I bon. (n=42); II bon. (n=20) ning III–IV bon. (n=7). Igast boniteediklassist valiti mudelpuud vastavalt vanusele: 1. vanuseklass 11–20-aastased; 2. 21–40-aastased; 3. 41–60-aastased; 4. 61–80-aastased ning 5. 81–100-aastased.

Töös analüüsitud mudelpuude vanus jäi vahemikku 13–88 a., kõrgus 7–31 m, rinnasdiameeter 5–37 cm ning puude maapealne biomass 5–778 kg. Tüvepuidu keskmine osakaal kogu puude maapealsest biomassist oli Ia–I boniteediklassis 79%, II bon. klassis 70% ning III–IV bon. 71%. Tüvekoore osakaal boniteediklasside lõikes varieerus vähe ning jäi 13–15% vahele. Okste osakaal mudelpuul ei sõltunud bon. klassist: see oli suurim II boniteediklassis (12%), millele järgnesid III–IV ja Ia–I vastavalt 10 ning 6%. Keskmine lehemassi osakaal maapealsest biomassist oli II ja III–IV boniteediklassi puudel 4% ning Ia–I bon. puudel 1%.

Kase keskmine tüvepuidu tihedus oli $0,582 \text{ g cm}^{-3}$, see varieerus nii boniteediklasside kui ka vanuse lõikes. Madalaim üksikpuu tüvepuidu tihedus oli $0,474$ ning kõrgeim $0,789 \text{ g cm}^{-3}$. Ia–I; II ja III–IV boniteediklassi kuuluvate puude tüvepuidu tihedused $D_{1,3}$ kõrguselt mõõdetuna olid $0,627$; $0,569$ ning $0,593 \text{ g cm}^{-3}$ ja $H_{70\%}$ kõrguselt mõõdetuna $0,583$; $0,557$ ning $0,554 \text{ g cm}^{-3}$. Puude vanuse kasvades tüvepuidu tihedus suurenes.

Magistritöös leitud mudelid kirjeldasid kase maapealset biomassi tervikuna, fraktsioonide kaupa ning ka boniteediklassidest lähtuvalt. Mudelite seos puu rinnasdiameetri või kõrgusega oli enamikel juhtudel tugev ($R^2 > 0,9$).

Magistritöö on osa KAUR-i poolt toetatud projekti „Eesti puistute biomassi mudelite väljatöötamine“ täitmisest. Kuna projekt veel jätkub, on töös kajastatud seni kogutud mudelpuude andmestiku põhjal saadud tulemused. Samuti on mudelite näol tegemist esialgsete, lihtsustatud mudelitega. Kaskede maapealse biomassi mudeleid võrreldi Soome vastavate mudelitega (Repola 2008). Mudelites ilmnesevad selged erinevused puude biomassi kirjeldamise osas, seda eriti just suuremate puude puhul, mis näitavad täpsemate biomassi ja puistute kasvu hinnangute saamiseks riigi- ja asukohapõhiste biomassimudelite väljatöötamise vajadust.

VIIDATUD ALLIKAD

1. **Aosaar, J., Mander, U., Varik, M., Becker, H., Morozov G., Madison M., Uri V.** (2016). Biomass production and nitrogen balance of naturally afforested silver birch (*Betula pendula* Roth.) stand in Estonia. *Silva Fennica*. 50(4) article id 1628. 19 p.
2. **Aun, K., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Morozov, G., Kukumägi, M., Uri, V.** (2019). The effect of thinning on the soil respiration and development of silver birch (*Betula pendula* Roth.) stands: aboveground biomass and leaf and fine root characteristics. Estonian University of Life Sciences, Institute of Forestry and Rural Engineering, F. R. Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu, Estonia. (Käsikiri saadetud ajakirja).
3. **Bormann, B. T., Gordon, J. C.** (1984). Stand density effects in young red alder plantations: productivity, photosynthate partitioning and nitrogen fixation. *Ecology*. 65, 394–402.
4. **Eriksson, H., Johansson, U. and Kiviste, A.** (1997). A site-index model for pure and mixed stands of *Betula pendula* and *Betula pubescens* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 12, 149–156.
5. Erametsakeskus. Puidu hinnainfo. [veebileht] <https://www.eramets.ee/uuringud-ja-statistika/hinnainfo/> (12.02.19).
6. **Henno, O.** (1959). Paremaboniteediliste kaasikute kasvukäik Eesti NSV-s. – EPA teaduslike tööde kogumik 11. Tartu, 50–57.
7. **Henno, O.** (1970). Arukaasikute produktsioonist ja selle kasutamisest. IX Eesti Loodusuurijate päev. Tartu, 105–106.
8. **Henno, O.** (1980). Arukaasikute kasvukäik põhilistes kasvukohatüüpides. EPA teaduslike tööde kogumik 128. Tartu, 80–89.
9. **Hynynen, J., Niemistö, P., Viherä-Aarnio, A., Brunner, A., Hein, S., Velling, P.** (2010). Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth. and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry*. 83(1), 103–119. doi: <http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpp035>.
10. **ISO 3131-1975 (E).** Wood–Determination of moisture content for physical and mechanical tests. First edition–1975-11-01.
11. **Johansson, T.** (2007). Biomass production and allometric above- and below-ground relations for young birch stands planted at four spacings on abandoned farmland. *Forestry*. 80, 41–52.

12. **Kasesalu, A.** (1965). Kasepuidu füüsikalise-mehaanilistest omadustest erinevates kasvukohatüüpides. *Metsanduslikud Uurimused*. 4, 149–157.
13. Keskkonnaagentuur. (toim/koost). (2018). Aastaraamat Mets 2017.(Yearbook Forest 2017). Tallinn: Avatar OÜ. 292 lk.
14. **Krigul, T.** (1972). Metsatakseerimine. Tallinn, Valgus, 358 lk.
15. **Lachowicz, H., Bieniasz, A., Wojtan, R.** (2019). Variability in the basic density of silver birch wood in Poland. *Silva Fennica*. 53(1), article id 9968. 13 p.
16. **Lutter, R., Tullus, A., Kanal, A., Tullus, T., Vares, A., Tullus, H.** (2015). Growth development and plant–soil relations in midterm silver birch (*Betula pendula* Roth.) plantations on previous agricultural lands in hemiboreal Estonia. *European Journal of Forest Research*. 134, 653–667.
17. **Lõhmus, E.** (2004). Eesti metsakasvukohatüübid. Tartu, 80 lk.
18. **Lõhmus, K., Mander, Ü., Tullus, H., Keedus, K.** (1996). Productivity, buffering capacity and resources of grey alder forests in Estonia. In: Perttu, K., Koppel, A. (eds.). Short rotation willow coppice for renewable energy and improved environment. Uppsala, 95–105.
19. **Oikarinen, M.** (1983). Growth and yield models for silver birch (*Betula pendula*) plantations in southern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae*. 113, 1–75. [soome keeles inglise keelse kokkuvõttega].
20. **Repola, J.** (2006). Models for vertical wood density of Scots Pine, Norway Spruce and Birch stems and their application to determine average wood density. *Silva Fennica*. 40(4), 673–685.
21. **Repola, J.** (2008). Biomass equations for birch in Finland. *Silva Fennica*. 42, 605–624.
22. **Saarman, E., Veibri, U.** (2006). Puiduteadus. Eesti Metsaselts. 560 lk.
23. **Spiecker, H., Mielikäinen, K., Köhl, M., Skovsgaard, J. P. (Eds.)** (1996). Growth Trends in Europe Forests. Springer, Berlin, 372 pp.
24. **Tullus, H.** (2001). Growing broadleaves. – Akadeemilise Metsaseltsi toimetised XIV. Lehtpuupuistute kasvatamine Eestis. Tartu, 5–23.
25. **Uri, V., Lõhmus, K., Ostonen, I., Tullus, H., Lastik, R., Vildo, M.** (2007). Biomass production, foliar and root characteristics and nutrient accumulation in young silver birch (*Betula pendula* Roth.) stand growing on abandoned agricultural land. *European Journal of Forest Research*. 126(4), 495–506.
26. **Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Morozov, G., Karoles, K.** (2017). Ecosystems carbon budgets of differently aged downy birch stands growing on well-drained peatlands. *Forest Ecology and Management*. 399, 82–93.

27. **Uri, V., Lõhmus, K., Kiviste, A., Aosaar, J.** (2009). The dynamics of biomass production in relation to foliar and root traits in a grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) plantation on abandoned agricultural land. *Forestry*. 82(1), 61–74.
28. **Uri, V., Varik, M., Aosaar, J., Kanal, A., Kukumägi, M., Lõhmus, K.** (2012). Biomass production and carbon sequestration in a fertile silver birch forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*. 267, 117–126.

LISAD

Lisa 1. Mudelpuude andmed

Puu nr.	D _{1,3} , cm	H, m	Vanus, a	Boniteedi-klass	Tüve osakaal, %	Koore osakaal, %	Lehe osakaal, %	Oksa osakaal, %	Biomass, kg
1	7,2	11,7	14	Ia-I	79,9	16,1	1,0	3,0	11,8
2	12,5	12,7	14	Ia-I	80,7	16,8	0,6	1,9	37,3
3	8,9	12,9	14	Ia-I	78,2	18,5	0,8	2,4	18,9
4	8,5	11,5	14	Ia-I	81,8	16,0	0,6	1,5	14,8
5	5,5	9,8	14	Ia-I	82,4	15,0	0,7	1,9	5,5
6	5,3	8,6	14	Ia-I	82,8	13,4	1,4	2,5	5,0
7	7,4	12,5	13	Ia-I	77,4	10,4	4,4	7,7	14,7
8	10,3	12,9	16	II	63,9	13,6	4,5	18,1	34,7
9	9,3	12,6	16	II	65,7	14,5	5,8	14,0	23,2
10	6,5	7,2	16	II	62,6	17,4	6,7	13,3	11,9
11	7,9	12,2	16	II	67,9	12,8	7,1	12,1	19,7
12	5,2	8,9	13	II	59,1	17,3	7,1	16,6	5,6
16	7,7	16,3	21	Ia-I	80,1	15,1	1,4	3,4	19,0
17	12,5	21,2	21	Ia-I	80,9	10,6	1,8	6,6	67,0
18	17,0	21,8	29	Ia-I	66,8	19,6	2,9	10,7	130,9
19	11,6	19,5	21	Ia-I	79,2	12,5	2,5	5,9	52,1
20	9,3	17,1	21	Ia-I	82,9	14,2	0,7	2,1	36,2
21	17,8	22,3	21	Ia-I	74,2	13,6	3,3	8,9	154,7
22	12,6	20,4	28	Ia-I	79,1	12,4	2,7	5,8	64,0
23	19,3	22,7	28	Ia-I	75,7	10,8	3,2	10,4	206,0
24	15,2	22,7	28	Ia-I	84,9	4,8	2,6	7,7	108,6
25	14,8	21,8	29	Ia-I	78,1	12,6	2,1	7,3	106,4
26	20,3	25,0	30	Ia-I	79,5	11,6	2,1	6,8	199,5
27	17,2	22,9	30	Ia-I	81,4	8,1	2,4	8,1	167,1
38	8,6	11,8	22	III-IV	70,2	15,6	6,1	8,1	21,9
39	5,8	10,3	22	III-IV	73,8	13,5	3,4	9,3	9,0
40	7,2	10,9	22	III-IV	75,0	14,4	2,8	7,8	14,1
41	5,4	9,9	32	III-IV	71,6	18,3	3,2	6,9	6,6
42	11	18,4	45	Ia-I	86,0	11,4	0,4	2,2	47,3
43	17,8	26,4	45	Ia-I	78,9	18,9	0,1	2,1	184,1
44	25,2	27,3	45	Ia-I	82,9	15,0	0,3	1,8	362,0
45	21,4	24,4	45	Ia-I	84,9	13,5	0,2	1,4	221,3
46	16,1	25,2	45	Ia-I	87,7	10,7	0,2	1,3	117,1
47	10,1	19,1	45	Ia-I	88,4	10,6	0,1	0,9	38,1
48	26	30,1	56	Ia-I	78,1	10,9	2,0	9,0	416,7
49	27,8	30,8	57	Ia-I	78,6	12,5	2,1	6,8	450,9
50	29,5	29,4	56	Ia-I	72,0	9,5	2,2	16,3	521,6
51	22,2	28,9	58	Ia-I	80,3	11,8	1,3	6,6	301,2
60	14,4	18,8	48	II	78,5	12,4	2,3	6,8	87,6
61	12,1	17,1	48	II	67,4	18,7	2,6	11,3	59,4

62	16,6	18,7	48	II	81,0	13,7	1,9	3,4	104,3
63	8	12,3	48	II	71,3	17,6	2,1	9,0	20,3
64	20,5	20,2	42	II	73,4	12,2	3,1	11,3	168,1
65	14	18,6	42	II	78,4	10,7	2,0	8,9	76,2
66	10	15,6	42	II	79,7	11,3	3,5	5,5	33,2
67	6,2	12,2	42	II	73,6	15,6	2,8	8,0	9,5
79	26,5	30,8	61	Ia-I	83,8	9,9	1,0	5,4	463,9
80	29,7	31,4	61	Ia-I	77,8	13,1	1,0	8,1	606,0
81	36,7	29,8	61	Ia-I	74,2	10,1	1,7	14,1	744,4
82	26,2	29,9	61	Ia-I	77,6	9,5	1,1	11,8	513,9
83	16,6	28,6	61	Ia-I	80,0	9,7	0,8	9,3	276,4
84	30,2	30	62	Ia-I	75,0	12,9	1,0	11,1	591,0
86	18	28,1	62	Ia-I	82,3	13,3	1,0	3,4	194,6
87	34,4	31	67	Ia-I	76,2	10,8	1,2	11,4	777,5
88	24,0	26,3	62	Ia-I	78,8	11,7	1,4	7,5	339,3
89	27,9	26,5	62	Ia-I	75,9	13,5	1,3	9,3	423,9
90	25,9	26,4	62	Ia-I	79,9	10,3	0,7	9,1	366,9
91	19,4	19,3	67	II	67,4	15,1	1,9	15,6	183,0
92	15,7	19,1	67	II	69,8	12,1	3,9	14,2	108,1
93	23,4	22,2	67	II	68,6	15,8	2,9	12,3	244,8
94	14,6	18,9	67	II	63,6	19,6	3,0	13,9	119,4
95	26,5	23,6	65	II	75,5	11,8	2,1	10,6	356,9
96	22,8	24,4	65	II	74,2	15,7	1,5	8,6	250,8
97	18,5	21,4	65	II	74,0	13,7	1,6	10,7	148,0
98	18,3	17	61	III-IV	70,7	16,7	1,6	11,0	130,4
99	19,9	19,4	65	III-IV	70,4	13,2	4,1	12,2	201,0
100	11,0	14,8	62	III-IV	68,9	14,6	4,5	12,0	45,0
102	35	29,6	88	Ia-I	71,6	16,2	0,9	11,3	749,1
104	26,7	31	88	Ia-I	82,0	12,4	0,7	4,9	630,7

Lisa 2. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Mikko Buht,
(16/05/91 39105165713)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö Kase maapealse biomassi fraktsionaalne jaotus, esialgsed biomassi mudelid ja tüvepuidu tihedus, mille juhendaja on Hardo Becker,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____

allkiri

Tartu, 31.05.2019

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)

(juhendaja nimi ja allkiri)

(kuupäev)